DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-72

УДК 33.051:[504.5:[662.63+662.65]](045)

ЕКОНОМІКО-ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ

ECONOMICAL & ECOLOGICAL ASPECTS OF DECARBONIZATION OF THE ENERGY INDUSTRY

Крутоголова Ірина Олександрівна
аспірант,
Інститут ринку та економіко-екологічних досліджень
Національної академії наук України;
директор,
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Аудиторська фірма «БРІК», м. Одеса
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9075-5129

Браверман Вячеслав Якович
кандидат технічних наук, генеральний директор,
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Консалтінгово-внедренчеськїй центр «поновлювані ресурси», м. Одеса
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4624-9843

Krutoholova Iryna
Institute of Market and Economic and Environmental Research
of the National Academy of Sciences of Ukraine;
Limited liability company «Audit firm «BRIC», Odesa

Braverman Vyacheslav
Limited liability company «Consulting and implementation center
renewable center «Renewable resources», Odesa

Актуальність статті визначається міжнародними зобов'язаннями України щодо захисту навколишнього середовища та зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу. В Україні збитки від забруднення повітря у 2020 році складали 10,42 мільярда доларів США, або 6,7% від ВВП (внутрішнього валового продукту). Актуальність проблеми ще більше зросла у зв'язку з необхідністю заміщення викопних енергетичних ресурсів (вугілля, газу, нафти), що раніше надходили з Росії. У роботі показано, що відходи сільськогосподарської діяльності можуть бути невичерпним дешевим джерелом для зелених, відновлюваних джерел енергії таких як біовугілля, біонафта, біоетанол, біогаз, органічного добрива високої якості – біочара. Можливість використання екзотермічної теплоти процесу піролізу сільськогосподарських відходів робить цей процес економічно більш привабливим та сприятиме його впровадженню. При використанні запропонованих технологій всі види вуглецевмісних відходів сільськогосподарської діяльності можна розглядати, як незатребуваний ресурс для декарбонізації всього енергетичного сектора України.

Ключові слова: забруднення повітря, біочар, біовугілля, біоетанол, автотермальний піроліз, відходи сільськогосподарської діяльності.

Topicality of the article is determined by Ukraine`s international obligations on environmental protection and reduction of carbon dioxide emissions in the atmosphere. In Ukraine the losses from air pollution in 2020 amounted to 10.42 billion $ (US dollars) or 6.7 % of GDP (Gross domestic product). Every year 40,000 children die from air pollution with fine suspended particles before the age of five. Up to 83% of all emissions of pollutants into the atmosphere of Ukraine fall on the electricity sector from the combustion of all fuels. The urgency of the problem is even greater increased due to the necessity to replace fossil energy resources (coal, gas, oil) that previously came from Russia. This work shows that agricultural waste may be an inexhaustible cheap source for green renewable energy sources such as: bio oil, bioethanol, biogas and organic high quality fertilizer – biochar. Indicators of straw as a renewable resource allow the use of low-cost efficient technologies for its transformation into popular commercial products

© Крутоголова І.О., Браверман В.Я.

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

(biochar, bio oil, bioethanol, biogas). The use of biomass for the generation of heat and electricity actually means the onset of the fourth energy transition in Ukraine. The possibility of using exothermic heat of the pyrolysis process of agricultural waste makes this process economically more attractive and will facilitate its implementation. When using the proposed technologies all types of carbonaceous agricultural waste could be considered as unclaimed resource for decarbonization of the entire energy sector of Ukraine. The urgency of decarbonization of energy systems has increased since the entry into force of the Paris Climate Agreement in 2016. Decarbonization of the energy economy is a reduction in CO2 emissions per unit of energy produced. To implement this technology, it is necessary to develop a targeted program for decarbonization of Ukraine's energy sector based on the use of agricultural waste, and conduct the necessary additional research to improve the technology of production of hydrogen and second-generation bioethanol from agricultural waste.

Keywords: air pollution, biochar, bioethanol, autothermal pyrolysis, agricultural waste.

Постановка проблеми. У 2020 році міжнародний Greenpeace та Центр досліджень енергетики та чистого повітря (CREA) випустили спільне дослідження, автори якого дійшли висновку, що світова економіка щодня втрачає $8 млрд. через наслідки спалювання викопного палива [1]. Брудне повітря щороку забирає 4,5 млн. життів у всьому світі. Щороку від забруднення повітря дрібнодисперсними завислими частинками помирають 40 тис. дітей, не доживши до п'яти років. До 83% всіх викидів забруднюючих речовин, у атмосферу припадає на галузь електроенергетики від спалювання всіх видів палива. Значно побільшало забруднення повітря викидами від спалювання вугілля в Україні останніми роками. В Україні збитки від забруднення повітря у 2020 році склали 10,42 мільярда доларів США, або 6.7% від ВВП (внутрішнього валового продукту) [2].

Через бойові дії на сході країни для опалення замість антрацитового вугілля стали надходити енергетичні вугілля. На рис. 1 зазначений обсяг використання антрацитового вугілля та газового (енергетичного) вугілля протягом 2015–2021 років в млн тонн.

Головним магістральним шляхом зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу та зменшення їхнього впливу на здоров'я людей і як наслідок зменшення економічних втрат є відхід в електроенергетиці від використання викопних палив. Актуальність декарбонізації енергетичних систем зросла після набуття чинності Паризької угоди щодо клімату в 2016 р. Декарбонізація економіки енергетичної галузі – це зниження викидів CO2 на одиницю енергії, що виробляється.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У багатьох роботах розглядаються можливості заміщення копалин палив різними видами біомаси. Можна зазначити роботи Гелетухи Г.Г., Залізної Т.А., Трибой А.В. у якій досліджуються перспективи використання відходів сільськогосподарської діяльності для електроенергії [11]. У роботі Юркевича Ю.С., Споданюк Н.О. звернено увагу на викиди в

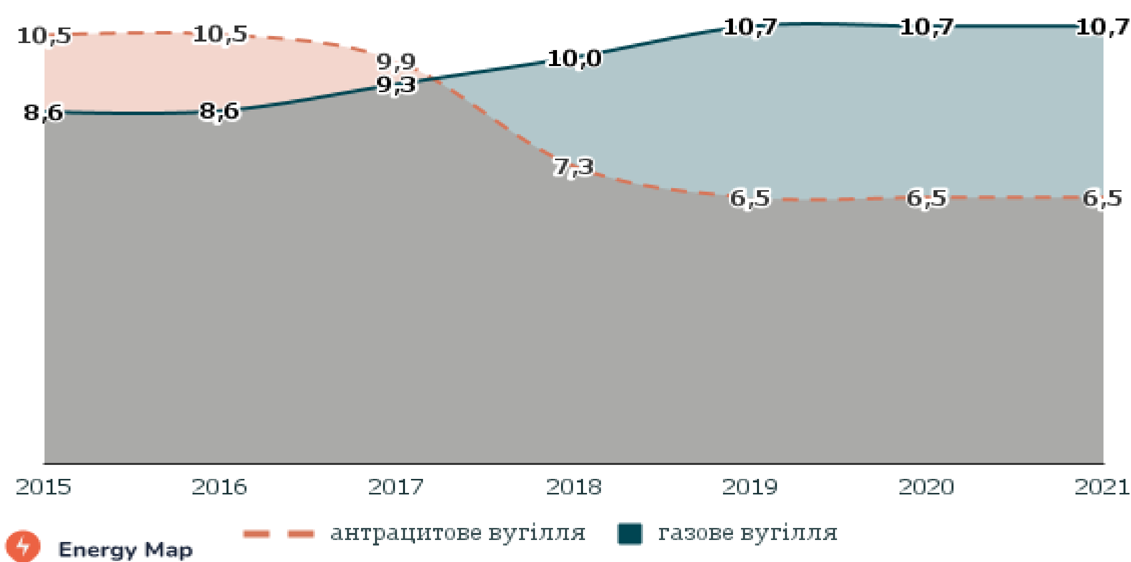


Рис. 1. Обсяг використання антрацитового вугілля та газового вугілля протягом 2015–2021 років в млн тонн

атмосферу при спалюванні копалин палив особливо небезпечних викидів поліциклічних вугроводнів – бенз(а)пірена.

Найбільш природно замістити викопне вугілля дровами, брикетами або пелетами дров'яного походження. У [3] наведено викиди забруднюючих речовин, у атмосферне повітря без систем очищення при спалюванні 1 тис. тонн палива (таблиця 1).

Крім того, [3] наведено також дані про емісію бенз(а)пірена при спалюванні деревини на рівні 0,21 г/ГДж, що порівняно з емісією бенз(а) пірена від спалювання вугілля 0,27 г/ГДж. Аналіз цієї таблиці показує, що заміщення вугілля дровами та різними дров'яними відходами не вирішує завдання зниження викидів в атмосферу. На даний момент відсутній також позитивний досвід заміщення викопних палив різними видами біомаси. Спалювання біомаси у світі обумовлює викиди 32% оксиду вуглецю, 20% частинок, 50% високо канцерогенних поліароматичних вуглеводнів бенз(а) пірена [4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми заміщення. Виходячи з даних надходження газового енергетичного вугілля в Україну в останні роки (див. рис. 1) обсяг необхідного заміщення становить 10,7 мільйонів тон. У різних урядових та інших документах багаторазово декларувалася необхідність декарбонізації енергетичної галузі. Разом з тим, у них не наводяться економічні оцінки способів заміщення такого обсягу вугілля. Незважаючи на те, що частка сонячних та вітрових електростанцій у структурі виробництва електроенергії України за 2020 рік зросла вдвічі до 6,8%, а встановлена потужність ВЕС та СЕС збільшилася на 41% до 6,4 ГВт за 2020 рік, генерацію сонячних та вітрових електростанції не можна розглядати як заміну теплових ТЕС, що працюють на вугіллі. Це пов'язано насамперед із залежністю генерації СЕС та ВЕС від погодних умов, а також розбіжністю піків генерації та споживання.

Постановка завдання. Для масового заміщення викопних палив на паливо з відновлюваних ресурсів необхідна зацікавленість сторони, що впроваджує. З цією метою при грошовій оцінці викопного палива необхідно враховувати також екологічні витрати які несе сторона, що впроваджує, пов'язані з платежем за забруднення навколишнього середовища та економічні витрати пов'язані з втратою здоров'я населення від забруднення. У зв'язку з цим метою цієї роботи було розробка методів економічної оцінки екологічної та соціальної шкоди від забруднення довкілля викидами при спалюванні копалин палив. При виборі найкращої технології заміщення викопних палив таких як вугілля, природний газ, нафта, торф та ін. необхідно враховувати економічний, екологічний та соціальні аспекти.

Виклад основного матеріалу. Найважливішу роль у визначенні перспектив розвитку енергетики України грає економічний чинник. Основний показник ефективності для розглянутих технологій – собівартість електроенергії. За оцінками наведених у [5] собівартість виробництва 1 кВт/годину електроенергії у 2020 році склала:

– для ТЕЦ на газі 1,54 грн;
– для ТЕЦ на вугіллі 0,84 грн;
– для АЕС – 0,56 грн;
– для ГЕС – 0,72 грн;
– для СЕС та ВЕС з різних джерел від 0,7 до 0,9 грн.

У [6] наведено діаграму зіставлення вартості тепла, виробленого різними видами палива. Аналіз цієї діаграми показує, що вар-

Таблиця 1

Викиди забруднюючих речовин, у атмосферне повітря без систем очищення при спалюванні 1 тис. тонн палива

Вид палива/викиди	CO_2	NO_2	SO_2	Тверді частинки (пил неорг.)	РАЗОМ
Природний газ	1,18	3,52	0,00	0,00	4,70
Дерев'яні брикети, пеллети	4,68	9,31	0,28	4,11	17,69
Деревина	4,9	9,4	0,30	4,3	18,9
Тирса деревна	5,0	9,6	0,5	5,0	20,0
Дерев'яни відходи	5,2	9,9	0,4	5,2	20,7
Швидкозростаюча деревина	4,8	9,5	0,0	8,4	22,7
Сучки, кора	5,6	11,4	0,8	13,4	31,3
Кам'яне вугілля	9,58	63,56	9,2	65,32	147,66

Джерело: [3]

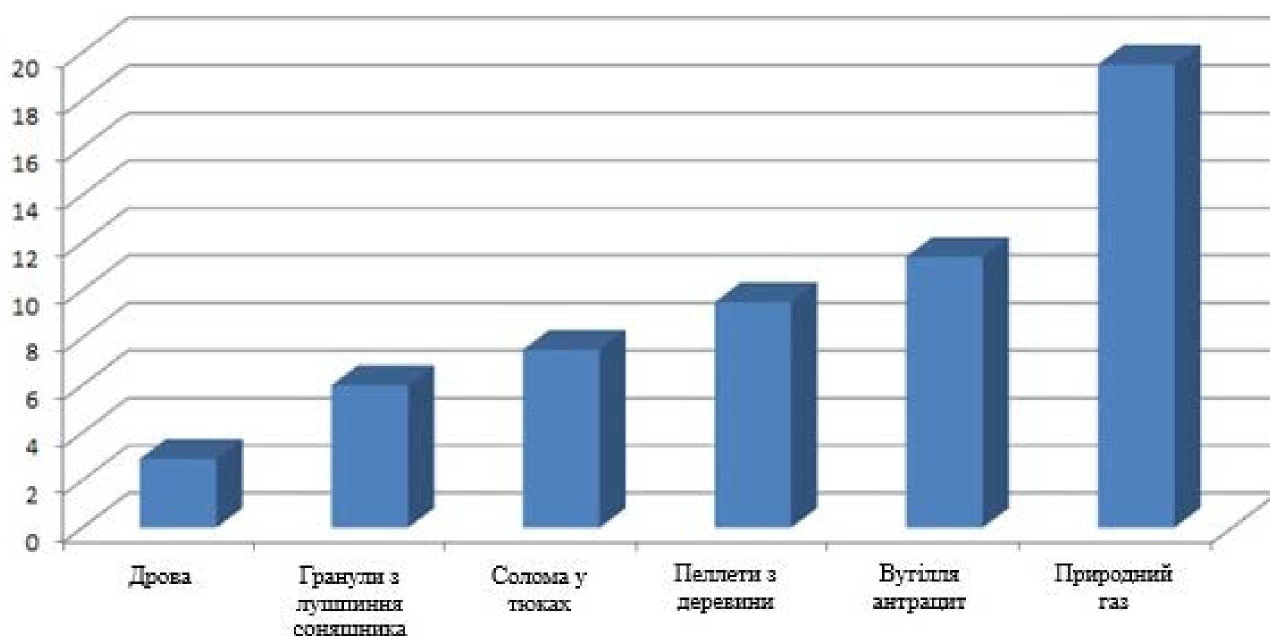


Рис. 2. Порівняння вартості 1 ГДж тепла, виробленого з використанням різних енергоресурсів, $

тість виробництва теплової енергії з соломи в 1,7 рази дешевша ніж з вугілля і в 2,7 рази дешевша ніж з природного газу (рис. 2).

Економічний збиток підприємству, на балансі якого знаходиться котельня, повинен також враховувати платежі по податку на забруднення, які сплачує підприємство. Економічна оцінка збитків може бути виконана за чинними в України ставками податку на викиди в атмосферне повітря від окремих забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення, наведеними у статті 243 Податкового кодексу України, Глава 8, Екологічний податок. Слід також зазначити, що екологічний план EU Green Deal, передбачає зниження до 2030 року атмосферних викидів на 55% до рівня 1990 року за рахунок введення транскордонного вуглецевого податку (Carbon Border Adjustment Mechan) країни ЄС на наступні товари сталь, цемент, алюміній, добрива та електроенергію. Цей податок спрямовано на істотне прискорення декарбонізації енергетичної галузі.

Якщо економічний та екологічний ефект можуть бути виражені у грошовому обчисленні, то для соціального ефекту, оцінка у грошових коштах зниження захворюваності населення внаслідок екологічної нормалізації умов життєдіяльності людини загальноприйнятої методики не існує [7]. Нижче наведена запропонована нами для використання методика оцінки ризику впливу викидів забруднюючих речовин в атмосферу на здоров'я людей в розрахунку на кіловат-годину генерованої електричної або теплової енергії [8]. Показано, що економічна цінність покращення здоров'я людини, пов'язаного із запобіганням викидам PM 2,5 і NOx та SO_2 від виробництва електроенергії на викопному паливі, у Сполучених Штатах коливається від 0,005–0,013 $/кВт/г. Середня економічна вартість впливу забруднюючих речовин на здоров'я, пов'язаного з використанням викопних палив у США, становить 0,14–0,35 $/кВт/г. Для вугілля ця оцінка становить, 19–0,45 $/кВт/г, нафти 0,08–0,08–0,19 $/кВт/г та природного газу 0,08–0,08–0,19 $/кВт/г. При річному обсягу генерації тепловими електростанціями в Україні – 44,4 ГВт економічна вартість впливу забруднюючих речовин на здоров'я людей, пов'язаного з використанням викопних палив в Україні становитиме 222 млн.$.

Нами пропонується замінювати викопне вуглецеве паливо спеціальним паливом, виробленим окремим промисловим майданчиком з відходів сільськогосподарської діяльності методами торрефікації (піролізу). Таким паливом, наприклад, може бути біовугілля або торрефіковані пелети з нього. У біовугілля є цілий ряд переваг [9]:

– висока теплотворна здатність (20-30 МДж/кг);
– низький вміст сірки та важких металів;
– низька емісія NOx;
– висока температура плавлення золи (1400°C) забезпечує усунення проблем, пов'язаних зі спіканням біомаси в котлах;

– висока енергетична щільність, завдяки якій знижуються транспортні витрати, потрібні менші обсяги складських приміщень;

Що особливо важливо, біовугілля є CO_2-нейтральним джерелом енергії, при спалюванні 1 т біовугілля редукується 2,5 т викидів CO_2.

Використання біомаси для генерації теплової та електричної енергії фактично означає наступ в України четвертого енергетичного переходу. Перші три енергетичні переходи – від дров до вугілля, від вугілля до нафти та від нафти до природного газу – практично завершені. В даний час залежно від вологості біомаси можна розглядати дві технології перетворення енергії біомаси на паливо. Одним із перспективних напрямів переробки біомаси для подальшого її ефективного використання отриманих продуктів як паливо в існуючому паливному обладнанні є піроліз. Стримуючим фактором застосування піролізу є необхідність підведення зовнішнього тепла для здійснення процесу, що суттєво збільшує вартість продуктів піролізу. У [10] показано, що процес піролізу біомаси може проходити і в автотермічному тепловому режимі. Тобто, біомасу досить спочатку нагріти до певної температури, а далі процес йде в автоматичному режимі, за рахунок власного тепловиділення. Показано, що процес піролізу соломи також є екзотермічним та протікає з виділенням тепла. На рис. 3 наведено розподіл тепла у процесі піролізу біомаси.

Підведена до сировини теплота (Q) витрачається на випаровування вологи (Q_1), нагрівання до температури, при якій починається активне розкладання біомаси (Q_2), нагрівання до закінчення процесу формування вуглецевого залишку (Q_3), а також втрати з летючими продуктами (Q_4).

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{ТЭ}, \quad (1)$$

Автотермічність процесу забезпечуватиметься у разі коли величина теплового ефекту перевищить суму необхідних теплових витрат для здійснення процесу піролізу. Таким чином, рівняння (1) може бути перетворено на (2) що є умовою для настання автотермічності процесу піролізу біомаси:

$$Q_{ТЭ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2)$$

Значення теплового ефекту для соломи у діапазоні температур 235–575°С становило 1475 кДж/кг. Сумарний тепловий ефект залежить від вологості біомаси.

При значенні вологості 30,5% теплові витрати дорівнюють тепловому ефекту [10]. Дане значення може бути розглянуто як граничне, при якому можлива термічна переробка соломи в автотермічному режимі. У таблиці 2 наведені показники, що впливають на здійснення піролізу для деяких видів біомаси [11].

Зіставлення показників вологості вказує на можливість піролізу в автотермічному режимі лише для соломи. В інших випадках, коли вологість перевищує 30,5% для виробництва біовугілля нами пропонується застосовувати технологію, яка заснована на процесі гідро-

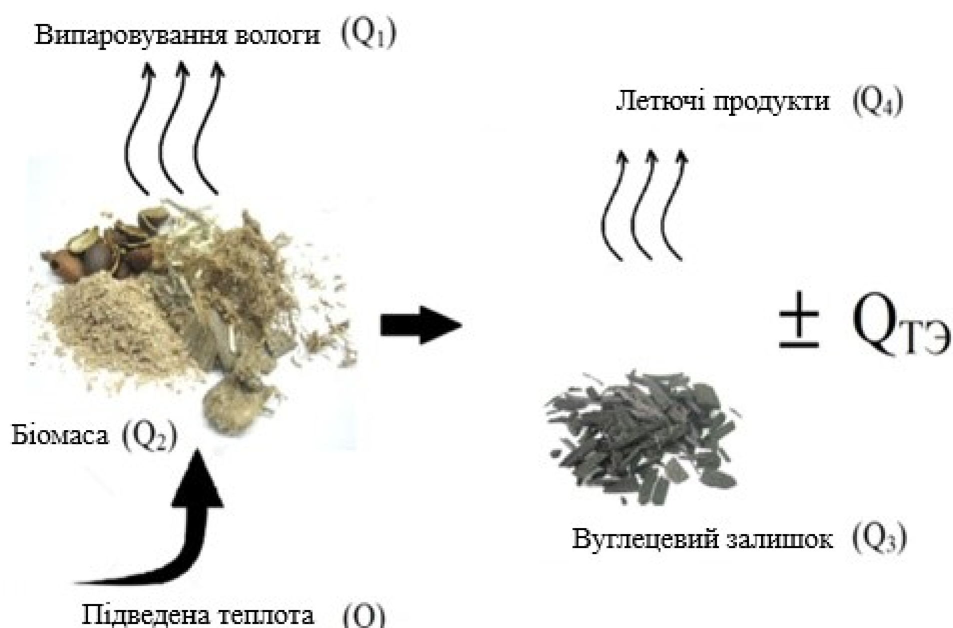


Рис. 3. Розподіл тепла у процесі піролізу біомаси

Таблиця 2

Показники, що впливають на здійснення піролізу для деяких видів біомаси

Показники	Свіжа солома (жовта)	Солома, що зберігалася на полі, («сіра»)	Стебла кукурудзи	Стебла соняшнику	Тріска з деревини
Вологість, %	10-20	10-20	45-60	60-70	40
Нижча теплота згорання, МДж/кг	14	15	16,7	16	10,4
Температура плавлення золи, °С	750-1000	950-1100	1050-1200	800-1270	1000-1400
Зольність, %	4	3	6,7	10	0,6-1,5
Зміст летючих речовин, %	>70	>70	67	73	>70

Джерело: [11]

термальної карбонізації (надалі – ГТК). При температурі 180-220°С, тиск 10-25 бар, без доступу повітря і з додаванням каталізатора біомаса зневоднюється і карбонізується протягом 6-12 годин до CO_2-нейтрального біовугілля. Виробничий процес характеризується майже 100%-вуглецевою ефективністю.

Процес гідротермальної карбонізації також є екзотермічним – у ході трансформації біомаси у біовугілля звільняється енергія. Ця теплова енергія може бути акумульована для створення первинної необхідної температури. Головною перевагою процесу ГТК є можливість використання різних видів біомаси, включаючи низькоякісну, яка придатна тільки для утилізації, а також відсутність попереднього сушіння біомаси, що дозволяє значно знизити вартість обладнання. Ці переваги дозволяють сьогодні вважати технологію ГТК «найкращою доступною технологією», яка може бути охарактеризована як технологічний процес, технічний метод, заснований на сучасних досягненнях науки і техніки, спрямований на зниження негативного впливу господарської діяльності на навколишнє середовище та встановлений термін практичного застосування з урахуванням економічних, технічних, екологічних та соціальних факторів.

Технологія ГТК дозволяє переробляти не тільки рослинну біомасу, а й біомасу з великим вмістом вологи – стічні і каналізаційні шлами як підприємств, так і населених пунктів [12]. Нині технологія ГТК набула широкого поширення. У Європі створено асоціацію гідротермальної карбонізації. Заводи з виробництва біовугілля слід розміщувати поблизу місць утворення відходів. Вони повинні бути обладнані сучасними пристроями очищення речовин, що забруднюють повітря. Сировиною для цих заводів може бути соломи зернових та зернобобових культур. Компонентний склад деяких видів відходів сільськогосподарської діяльності дозволяє виробляти з них не тільки біовугілля, але й інші продукти, які можуть замінити використання продуктів, що виробляються з викопної сировини.

У таблиці 3 наведений компонентний склад у відсотках деяких видів біомаси.

Компонентний склад рисової соломи та берези дуже схожий. Але берези в Україні мало, рисової соломи багато. Хімічний склад соломи схожий із складом деревини, відріз-

Таблиця 3

Компонентний склад у відсотках деяких видів біомаси

Сировина	Геміцелюлоза	Целюлоза	Лігнін	Інше
Солома пшениці	18.1	29.1	27.4	25.5
Рисова солома	26.0	40.8	17.9	15.3
Стебла кукурудзи	32.6	33.5	11.0	22.9
Кукурудзяні качани	37.7	33.5	15.1	13.7
Сосна	17.8	47.8	19.7	14.7
Модрина	24.8	37.6	24.6	13.0
Береза	26.5	39.4	19.7	14.4
Осика	20.3	44.0	21.8	13.9

Джерело: [12]

няючись лише співвідношенням основних компонентів, а відсутність витрат на вирощування та виділення додаткових територій робить солому практично безцінною в економічному плані. Україна в 2020 року зібрала 65,4 мільйона тонн цих культур. При врахуванні, що співвідношення соломи до зерна становить у середньому 0,8:1 це означає, що розрахунковий обсяг соломи у 2020 році становив 52,3 мільйона тон, що більш ніж достатньо для заміщення 10,7 мільйонів тонн викопного енергетичного вугілля. Частина зібраної соломи йде на корм тваринам та підстилку. Решту соломи пропонується переробляти в органічне добриво та біопаливо.

Технології автотермічного піролізу та ГТК дозволяють отримувати з відходів сільськогосподарської діяльності також високоякісне органічне добриво – біочар. Біочар (biochar) в останні роки викликає все більший інтерес у всьому світі завдяки його впливу на підвищення врожайності у сільському господарстві у деяких випадках на 30-40% [13]. Внесення біочара у ґрунт суттєво збільшує вміст мінерального азоту [14] у ґрунті, скорочуючи потребу в азотних добривах тим самим зменшуючи потребу у природному газі для виробництва азотних добрив. Унікальними властивостями Biochar є [13]:

– збільшує пористість землі у тисячі разів;
– прискорює швидкість зростання рослини;
– збільшує доступність у ґрунті елементів Ca, Mg, P та K;
– зберігає вологість ґрунту;
– зберігає поживні речовини для кореневої системи;
– стабілізує ґрунт;
– запобігає злипанню землі в грудки;
– прискорює споживання поживних речовин корінням;
– збільшує родючість землі, збільшую загальну біомасу;
– стимулює фіксацію симбіотичного азоту у кореневій системі.

Особливо актуальним є використання цього добрива нині після припинення поставок добрив із Росії. Одержання в одному виробничому циклі двох товарних позицій: БІОПАЛИВА І ДОБРИВА дозволяє згладити багато екологічних та фінансових протиріч в агропромисловому комплексі.

Ще одним напрямком використання біомаси є виробництво зеленого водню. Сьогодні структура виробництва водню розподілена за трьома основними джерелами: 18% припадає на переробку вугілля, 4,3% забезпечується за рахунок «зеленого» водню, одержуваного за допомогою відновлюваних джерел енергії шляхом електролізу води, проте основний обсяг 78% – становить переробка природного газу та нафти. Проведений нами аналіз літератури та патентний пошук показує, що найчастіше використовується спосіб перетворення біомаси на гази – це двох стадійна газифікація.

На першому етапі виробляється піроліз біомаси, але в другому – газифікація товарів, отриманих на першому етапі [15]. У розглянутих двох стадійних технологіях кінцевим продуктом є синтез-газ, головними компонентами якого є H_2 та CO (оксид вуглецю). Залежно від складу відходів співвідношення $CO:H_2$ у ньому варіюється від 1:1 до 1:2. У таблиці 4 наведено значення питомого виходу, компонентний склад та теплота згорання синтез-газу, отриманого з різних видів біомаси [16]. Також у таблиці наведено співвідношення компонентів синтезу газу водню та оксиду вуглецю.

З наведених даних видно, що більшість біомаси рослинного походження дає близькі результати як за питомим виходом, так і за

Таблиця 4

Співвідношення компонентів синтезу газу водню та оксиду вуглецю

Вид біомаси	Питомий вихід, $м^3/кг$	Компонентний склад, % об.			Відношення об'ємних часток, H_2/CO	Найнижча теплота згорання, $МДЖ/м^3$
		H_2	CO	C_nH_m		
Деревина	1,39	46	46	0	1	10,8
Дерев'яна кора	1,24…1,31	50…66	17…47	0…16	1,05…2,2	11,5…14,9
Торф	1,39	49	41	1	1,2	10,8
Солома	1,35	40	38	0	1,05	9,1
Лушпиння соняшника	1,39	43	37	0	1,16	9,3
Осади стічних вод (ОСВ)	1,04	53	27	5	1,96	10
Послідно-підстилочна маса	1,3	46	37	1	1,24	10,9

Джерело: [16]

складом синтез-газу. Таким чином, виробництво водню з біомаси може суттєво зменшити споживання природного газу та нафти.

Велика питома вага целюлози в сільськогосподарських відходах (табл. 3) та використання технології гідротермальної карбонізації дозволив компанії Clariant розробити технологічний процес SUNLIQUID® [17; 18] для отримання цукру з нехарчової сировини, такої як солома зернових та рисових культур, стебел кукурудзи. Цукор потім перетворюється на біоетанол. Ця технологія може застосовуватися незалежно від того, які сільськогосподарські відходи є у регіоні. Біоетанол із целюлози відходів вважається біоетанолом другого покоління, для виробництва якого не потрібна харчова сировина.

З 5 тонн соломи виходить 1 тонна целюлозного етанолу, із 5 тонн соломи можна отримати також близько 1 тони біоетанолу. Цього достатньо, щоб проїхати до 15 тисяч кілометрів та скоротити викиди вуглекислого газу на 95% порівняно з бензином. Особливо актуальним є впровадження технології отримання біоетанолу другого покоління у зв'язку з набранням чинності Закону України № 3356-д щодо обов'язкового використання рідкого біопалива (біокомпонентів) у транспортній галузі з 1 травня 2022 року. Ще одна сфера застосування соломи – це виробництво паперу. Оскільки компонентний склад соломи містить багато целюлози, то вона може служити сировиною для виробництва різного паперу [19].

Висновки. В Україні є мало затребуваний потенціал відходів від сільськогосподарської діяльності. Завдяки своєму компонентному складу ці відходи можуть бути сировиною для виробництва:

– біопалива, яким можна замінити викопне паливо в системах генерації електричної та теплової енергії та вирішити проблему декарбонізації;

– біочара органічного добрива, що дозволяє відшкодувати брак добрив, пов'язаних з припиненням імпорту добрив і зменшити споживання газу;

– зеленого водню.

Пропозиції:

1. Створити в Україні ринок відходів сільськогосподарської діяльності.

2. Для відходів з вологістю до 30% пропонується використовувати технологію піролізу в автотермічному тепловому режимі. Для біомаси з вологістю понад 30% пропонується використовувати технологію гідротермальної карбонізації.

3. Для виробництва водню використати технологію двох стадійної системи газифікації біомаси.

4. Розробити в Україні цільову програму декарбонізації енергетичної галузі, що базується на використанні відходів сільськогосподарської діяльності.

5. Провести необхідні додаткові дослідження для вдосконалення технології виробництва з відходів сільськогосподарської діяльності водню та біоетанолу другого покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. ООН, Экономический и Социальный Совет, Издержки бездействия, 2022, Всемирная организация здоровья, Европейский процесс «Окружающая среда и здоровье».

2. Стоимость загрязнения воздуха в 2020 году. URL: https://www.iqair.com/ru/blog/air-quality/the-cost-of-air-pollution-in-2020

3. Юркевич Ю.С., Сподинюк Н.А. Екологічні аспекти використання твердого палива в міських системах опалення. URL: http://www.vothp.org.ua/PDF/17/VOTHP_2014_17_15.pdf

4. Жовмир Н.М. Анализ нормативных требований к эмиссии загрязняющих веществ при сжигании биомассы. *Промышленая теплотехника*. 2012. Т. 34. № 1.

5. Федоров М. Стоимость киловатта и социальная справедливость. Минфин, 2021.

6. Определение спроса и цены на биоэнергетическую продукцию. URL: https://www.blogbusiness.com.ua/opredelenie-sprosa-i-ceny-na-bioenerg/

7. Оценка риска для здоровья от загрязнения воздуха – общие принципы. Копенгаген : Европейское региональное бюро ВОЗ, 2016.

8. Махол Бен, Ризк Сара. Экономическая ценность воздействия электроэнергии на ископаемом топливе в США на здоровье. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.03.003

9. Передерий Сергей. Биоуголь – новое или хорошо забытое старое? Возрождение гидротермальной карбонизации биомассы в Европе. *ЛесПромИнформ.* 2014. № 3(101). URL: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3675

10. Астафьев А.В., Табакаев Р.Б., Мусафиров Д.Е., Заворин А.С., Дубинин Ю.В., Языков Н.А., Яковлев В.А. Исследование тепловых эффектов пиролиза соломы для оценки возможности его реализации в автотермическом режиме. *Химия растительного сырья*. 2019. № 2.

11. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Трибой А.В. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 2. *Промышленная теплотехника.* 2014. Т. 36. № 5.

12. Гидротермальная карбонизация. Карбонизация паром. Презентация – Официальный интернет-сайт компании Grenol GmbH. URL: https://docplayer.com/72991890-Gidrotermalnaya-karbonizaciya-karbonizaciya-parom-vedushchie-tehnologii-pererabotki-othodov-po-vsemu-miru.html

13. Биочар – новое слово в органическом выращивании. URL: https://www.growlight.ru/content/7-biochar

14. Biochar: панацея для агропромышленности XXI века. url: http://www.pyrolys.net/biochar-panaceja-XXI-veka/ru/1

15. Браверман В.Я., Круш И.Б. (27.04.2020). Патент Украины № 141908 от 27.04.2020. «Способ производства водорода из отходов сельскохозяйственной деятельности». МПК (2020.01) C01B 3/02 (2006.01), C08J 11/00. Бюлетень № 8.

16. Зайченко Виктор, Чернявский Адольф, Шевченко Александр. Возможности биоэнергоперехода в России. URL: https://energypolicy.ru›energoperehod

17. Целлюлозный этанол из сельскохозяйственных отходов – устойчивая мобильность с sunliquid® URL: https://www.clariant.com/en/Business-Units/Biofuels-and-Derivatives/Sunliquid

18. Снижение зависимости от ископаемого топлива и содействие местному производству топлива. URL: https://www.clariant.com/en/Innovation/

19. Бумага из соломы: технология производства, оборудование, рентабельность бизнеса. URL: https://rcycle.net/drevesina/soloma/

REFERENCES:

1. OON, Ekonomicheskiy i Sotsialnyiy Sovet, Izderzhki bezdeystviya. 2022. Vsemirnaya organizatsiya zdorovya, Evropeyskiy protsess «Okruzhayuschaya sreda i zdorove» [«Environment and Health»].

2. Stoimost zagryazneniya vozduha v 2020 godu [The cost of air pollution in 2020]. Available at: https://www.iqair.com/ru/blog/air-quality/the-cost-of-air-pollution-in-2020

3. Yurkevich Yu.S., Spodinyuk N.A. Ekologichni aspekti vikoristannya tverdogo paliva v miskih sistemah opalennya [Environmental aspects of solid fuel use in urban heating systems]. Available at: http://www.vothp.org.ua/PDF/17/VOTHP_2014_17_15.pdf

4. Zhovmir N.M. (2012) Analiz normativnyih trebovaniy k emissii zagryaznyayuschih veschestv pri szhiganii biomassyi [Analysis of regulatory requirements for emissions of pollutants during biomass combustion]. *Promyishlenaya teplotehnika*, t. 34, no. 1.

5. Fedorov M. (2021) Stoimost kilovatta i sotsialnaya spravedlivost [The cost of a kilowatt and social justice]. Minfin.

6. Opredelenie sprosa i tsenyi na bioenergeticheskuyu produktsiyu [Determination of demand and price for bioenergy products]. Available at: https://www.blogbusiness.com.ua/opredelenie-sprosa-i-ceny-na-bioenerg/

7. Otsenka riska dlya zdorovya ot zagryazneniya vozduha – obschie printsipyi (2016) [Health risk assessment from air pollution – general principles]. Kopengagen: Evropeyskoe regionalnoe byuro VOZ.

8. Mahol Ben, Rizk Sara. Ekonomicheskaya tsennost vozdeystviya elektroenergii na iskopaemom toplive v SShA na zdorove [The Economic Value of the Health Impact of U.S. Fossil Fuel Electricity]. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.03.003

9. Perederiy Sergey (2014). Biougol – novoe ili horosho zabyitoe staroe? Vozrozhdenie gidrotermalnoy karbonizatsii biomassyi v Evrope [Biocharcoal – new or well-forgotten old? Revival of hydrothermal carbonization of biomass in Europe]. *LesPromInform*, no. 3(101). Available at: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3675

10. Astafev A.V., Tabakaev R.B., Musafirov D.E., Zavorin A.S., Dubinin Yu.V., Yazyikov N.A., Yakovlev V.A. (2019) Issledovanie teplovyih effektov piroliza solomyi dlya otsenki vozmozhnosti ego realizatsii v avtotermicheskom rezhime [Research of the thermal effects of straw pyrolysis to assess the possibility of its implementation in auto-thermal mode]. *Himiya rastitelnogo syirya*, no. 2.

11. Geletuha G.G., Zheleznaya T.A., Triboy A.V. (2014) Perspektivyi ispolzovaniya othodov selskogo hozyaystva dlya proizvodstva energii v Ukraine. Chast 2 [«Prospects for use of agricultural waste for energy production in Ukraine. Part 2]. *Promyishlennaya teplotehnika*, t. 36, no. 5.

12. Gidrotermalnaya karbonizatsiya. Karbonizatsiya parom. [Hydrothermal carbonization. Steam carbonization] Prezentatsiya – Ofitsialnyiy internet-sayt kompanii Grenol GmbH Available at: http://intercentre.de/wp-content/uploads/2016/10/Gemeinsame-Prasentation-HTCVTC_rus.pdf

13. Biochar – novoe slovo v organicheskom vyiraschivanii [Biochar – a new word in organic cultivation]. Available at: https://www.growlight.ru/content/7-biochar

14. Biochar: panatseya dlya agropromyishlennosti XXI veka [Biochar: a panacea for 21st century agro-industry] Available at: http://www.pyrolys.net/biochar-panaceja-XXI-veka/ru/1

15. Braverman V.Ya., Krush I.B. (27.04.2020). Patent Ukrainyi № 141908 ot 27.04.2020. «Sposob proizvodstva vodoroda iz othodov selskohozyaystvennoy deyatelnosti» [«Method of producing hydrogen from agricultural waste»]. MPK (2020.01) S01B 3/02 (2006.01), C08J 11/00. Byuleten № 8.

16. Zaychenko Viktor, Chernyavskiy Adolf, Shevchenko Aleksandr. Vozmozhnosti bioenergoperehoda v Rossii [Opportunities for the Bioenergy Transition in Russia]. Available at: https://energypolicy.ru›energoperehod

17. Tsellyuloznyiy etanol iz selskohozyaystvennyih othodov – ustoychivaya mobilnost s sunliquid® [Cellulosic ethanol from agricultural waste – sustainable mobility with sunliquid®]. Available at: https://www.clariant.com/en/Business-Units/Biofuels-and-Derivatives/Sunliquid

18. Snizhenie zavisimosti ot iskopaemogo topliva i sodeystvie mestnomu proizvodstvu topliva [Reducing dependence on fossil fuels and promoting local fuel production]. Available at: https://www.clariant.com/en/Innovation/

19. Bumaga iz solomyi: tehnologiya proizvodstva, oborudovanie, rentabelnost biznesa [Straw paper: production technology, equipment, business profitability]. Available at: https://rcycle.net/drevesina/soloma/